

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oren E., Hinnerk Möller K., Scerri S., Handschuh S., Sintek M. What are Semantic Annotations? URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.97.7985&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 21.10.2012).
2. Domingue J., Fensel D., Hendler J.A. Handbook of Semantic web Technologies. – Heidelberg; Dordrecht; London; N.Y.: Springer, 2011. – 1077 p.
3. Saša Nešić, Mehdi Jazayeri, Fabio Crestani, Dragan Gašević. Concept-Based Semantic Annotation, Indexing and Retrieval of Office-Like Document Units. 2010. URL: [http://www.old.inf.usi.ch/file/pub/56/tech\\_rep.pdf](http://www.old.inf.usi.ch/file/pub/56/tech_rep.pdf) (дата обращения: 21.10.2012).
4. Черный А.В., Тузовский А.Ф. Развитие информационной системы организации с использованием семантических технологий // Знания–Онтологии–Теория: Матер. Всеросс. конф. с междунар. участием. – Новосибирск, 20–22 октября 2009. – Новосибирск: ЗАО «РИЦ Прайс-Курьер», 2009. – Т. 2. – С. 52–59.
5. Тузовский А.Ф. Формирование семантических метаданных для объектов системы управления знаниями // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310. – № 3. – С. 108–112.
6. Handschuh S., Staab S. Authoring and Annotation of Web Pages in CREAM. 2002. URL: <http://www2002.org/CDROM/refereed/506/> (дата обращения: 21.10.2012).
7. SMORE – Create OWL Markup for HTML Web Pages. 2005. URL: <http://www.mindswap.org/2005/SMORE/> (дата обращения: 21.10.2012).
8. SWOOP – A Hypermedia-based Featherweight OWL Ontology Editor. 2004. URL: <http://www.mindswap.org/2004/SWOOP/> (дата обращения: 10.21.2012).
9. Zemanta. URL: <http://www.zemanta.com/> (дата обращения: 21.10.2012).
10. Ле Х.Х. Разработка электронных библиотек на основе семантических технологий // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 3. – С. 138–145.
11. Manning C.D., Raghavan P., Shutze H. An Introduction to information retrieval. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 569 p.
12. Navigli R. Word sense disambiguation: a survey // ACM computing surveys. – 2009. – V. 41. – № 2. – P. 1–69.
13. Home of Sesame. URL: <http://www.openrdf.org/index.jsp> (дата обращения: 21.10.2012).
14. Language-detection. URL: <http://code.google.com/p/language-detection/> (дата обращения: 21.10.2012).
15. Paul Th. The Lucene Search Engine. 2004. URL: <http://www.java-ranch.com/journal/2004/04/Lucene.html> (дата обращения: 21.10.2012).

Поступила 16.01.2013 г.

УДК 004.942, 004.652.5

## ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ РАЗНОТИПНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.А. Вичугова, В.Н. Вичугов, Г.П. Цапко

Томский политехнический университет  
E-mail: [anya@aics.ru](mailto:anya@aics.ru)

В рамках развития существующих теоретических и практических положений технологий информационной поддержки жизненного цикла изделий поставлена задача разработки метода, позволяющего структурировать сущности, создаваемые при проектировании высокотехнологичной продукции на примере радиоэлектроники. Составлены теоретико-множественные модели, описывающие состав и взаимозависимости разнотипных объектов проектирования: изделие, его информационные модели, электронная структура и конструкторская документация. С использованием объектно-ориентированного подхода выполнено концептуальное проектирование базы данных: определен набор атрибутов, характеризующих стадии жизненного цикла рассматриваемых объектов проектирования, и предложена формальная информационная модель структуры их взаимосвязей в виде UML-диаграммы классов.

### Ключевые слова:

Структурирование разнотипных взаимосвязанных объектов, объектно-ориентированный подход, теоретико-множественные модели.

### Key words:

Structuring different related objects, object-oriented approach, set-theoretic models.

### Введение

Проектирование высокотехнологичной продукции с длительным сроком активного существования (глубоководные и космические аппараты, искусственные человеческие органы и т. д.) представляет собой целый комплекс процессов со сложной структурой взаимосвязей и временной длительностью. Эта деятельность сопровождается большим количеством информации в виде инфор-

мационных моделей изделия (ИМИ), конструкторской документации (КД) и электронной структуры изделия (ЭСИ). Готовность изделия к производству определяется состоянием КД на данное изделие. Под качеством КД понимается отсутствие ошибок в описании характеристик изделия по нормативно-техническим стандартам. Первоисточником данных для КД является совокупность элементов ЭСИ, формируемой на основе файлов

ИМИ, разработанных в различных системах автоматизированного проектирования (САПР). Проектирование изделия считается завершенным в случае окончательно сформированной ЭСИ и утвержденной КД.

Для обозначения создаваемых при проектировании сущностей (Изделие, ИМИ, КД, ЭСИ) в работе используется термин «объекты проектирования», а термин «управление жизненным циклом объектов проектирования» — для обозначения следующей совокупности действий:

- структурированное хранение большого объема данных;
- автоматизированное изменение разнотипных объектов от исходного состояния к целевому с учетом их взаимозависимости;
- контроль за действиями участников процессов проектирования и обработкой информации.

Сегодня для решения всех вышеперечисленных задач применяются технологии информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) изделий, реализованные в системах управления данными (СУД) и САПР. Объединение СУД и САПР в единый программно-аппаратный комплекс представляет собой интегрированную информационную среду (ИИС).

Идея организации ИИС широко исследуется с 2000-х гг. российскими и зарубежными учеными [1]. Однако проведенный анализ существующих стандартов, методов, алгоритмов и программных решений для выполнения проектных работ по разработке изделий в рамках ИИС показал, что они не позволяют в полной мере отразить особенности проектирования высокотехнологичной продукции с длительным сроком активного существования. К этим особенностям относятся:

- итеративность процессов проектирования в соответствии со стадиями испытаний и сложность структуры влияния разнотипных взаимозависимых объектов друг на друга на различных стадиях ЖЦ;
- необходимость интеграции различных САПР, в которых выполняется разработка частей проектируемого изделия, при условии агрегации всех характеристик одного элемента ЭСИ в СУД и отсутствия дублирования данных.

Существующие нормативные документы регламентируют основные термины и определения ЖЦ продукции, но не содержат готовых решений по структуре взаимосвязей разнотипных объектов проектирования и динамике изменения их состояний. Для обеспечения целостности данных об объектах проектирования, структурированного хранения информации и ее автоматизированной обработки необходимо наличие правил управления разнотипными объектами проектирования с учетом их взаимозависимости. В связи с этим возникает необходимость поиска способа, позволяющего получить формализованное описание структуры взаимосвязей исследуемых разнотипных сущностей.

### Метод формализации структуры взаимосвязей объектов проектирования

Таким образом, метод формализации структуры взаимосвязей объектов проектирования должен обеспечивать возможность использовать модели, полученные в результате его применения, в качестве алгоритмической основы для разработки программного обеспечения средств управления жизненным циклом объектов проектирования в ИИС. Разрабатываемый метод должен включать математические положения и возможность использования полученных математических выражений в качестве основы для описания предметной области с применением существующих нотаций моделирования. Кроме того, согласно цели настоящей работы, необходимо установить соответствие положений предлагаемого метода и подходов к разработке программного обеспечения. Итак, метод формализации структуры взаимосвязей объектов проектирования должен включать следующие составные части:

- математическая основа;
- концептуальное проектирование структуры программного обеспечения с точки зрения объектно-ориентированной типизации данных;
- формальные модели объектно-ориентированной типизации данных в рамках структуры разрабатываемого программного обеспечения.

Согласно положениям, описанным в [1], СУД выполняет роль инструмента, реализующего автоматизированное управление жизненным циклом изделий. Поэтому возникает задача концептуального проектирования базы данных СУД. Концептуальное проектирование предполагает структуризацию данных в соответствии с базовыми положениями объектно-ориентированного подхода [2]. В свою очередь, в основе объектно-ориентированного подхода лежит теория систем и теория множеств. Таким образом, для реализации цели настоящего исследования, связанной с разработкой моделей и алгоритмов управления высокотехнологичной продукцией, на этапе ее проектирования необходимо формализовать отношения между разнотипными взаимозависимыми объектами с применением теории множеств. С использованием аппарата теории множеств, основные положения которой изложены в работах Б. Больцана, Б. Рассела, Э. Цермело и др., формализованы исследуемые объекты проектирования (Изделие, ИМИ, КД, ЭСИ) и связанные с ними сущности.

Пусть  $OP$  — множество объектов проектирования,  $PRJ$  — множество проектов,  $PROD$  — множество изделий,  $ITM$  — множество элементов ЭСИ,  $DOC$  — множество документов,  $DM$  — множество ИМИ,  $KD$  — множество конструкторских документов. ИМИ и КД фактически являются документами:  $DOC = \{DM, KD\}$ .

Рассматривая высокотехнологичную продукцию на примере отрасли космического приборостроения, следует детализировать множество элементов ЭСИ по видам изделий: детали, сбороч-

ные единицы, комплексы и комплекты. Между этими видами изделий существуют следующие отношения:

- в состав сборочной единицы могут входить детали, комплекты и другие сборочные единицы;
- в состав комплекта могут входить детали, сборочные единицы и другие комплекты;
- в комплекс могут входить детали, сборочные единицы, комплекты, а также другие комплексы.

Кроме того, согласно выделению разделов спецификации, изделие и его составные части также принято делить на:

- стандартные изделия (изделия, примененные по межгосударственным, государственным и отраслевым стандартам, а также стандартам предприятий);
- прочие изделия (изделия, примененные по техническим условиям, и импортные покупные изделия, примененные по сопроводительной технической документации зарубежных изготовителей/поставщиков);
- материалы (все материалы, непосредственно входящие в специфицируемое изделие, иногда их называют «изделия из материалов»).

В рамках данной классификации электрорадиоизделия (ЭРИ), которые являются основой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), относятся к прочим изделиям. Таким образом, множество ЭСИ имеет неоднородный характер, поэтому можно записать

$$ITM = \{ASM, PART, CT, CX, STPT, OTPT, MAT\},$$

где  $ASM$  означает множество сборочных единиц;  $PART$  – множество деталей;  $CT$  – множество комплектов;  $CX$  – множество комплексов;  $STPT$  – множество стандартных изделий;  $OTPT$  – множество прочих изделий;  $MAT$  – множество изделий из материала.

Совокупность элементов ЭСИ образуют изделие: одному элементу множества изделий соответствует несколько элементов множества ЭСИ. Поэтому можно записать, что изделие  $A$  является сюръективной функцией относящихся к нему элементов множества ЭСИ:

$$f_A : ITM_A \rightarrow \{prod_A\}, \quad (1)$$

где  $prod_A \in PROD$  означает изделие  $A$ , конкретный элемент множества изделий  $PROD = \{prod_A, prod_A, \dots, prod_A\}$ ,  $prod_A \in PROD$ ,  $ITM_A$  – множество элементов электронной структуры изделия  $A$ ;  $ITM_A \subseteq ITM$ ,  $ITM_A = \{itm_{i,A}\}$ ,  $itm_{i,A} \in ITM_A$  – конкретный элемент множества  $ITM_A$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  – количество элементов электронной структуры изделия  $A$ .

Используемый в настоящей работе термин «объекты проектирования» означает изделие, элементы его электронной структуры и описывающую их информацию в виде файлов информационных моделей и конструкторских документов. Поэтому можно записать

$$OP = \{PROD, ITM, DM, KD\}.$$

В рамках одного проекта  $prj \in PRJ$  может создаваться одно или несколько изделий, каждое из которых описывается файлами информационных моделей  $dm \in DM$  и конструкторских документов  $kd \in KD$ . Учитывая (1) и (2), можно записать выражение, описывающее частный случай множества объектов проектирования изделия  $A$  в рамках проекта  $Z$ :

$$OP_{Z,A} = \{prj_Z, prod_{Z,A}, \{itm_{i,A}\}, \{dm_{j,A}\}, \{kd_{k,A}\}\},$$

где  $n$  – количество элементов электронной структуры изделия  $A$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $m$  – количество информационных моделей изделия  $A$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $p$  – количество конструкторских документов по изделию  $A$ ,  $k = \overline{1, p}$ ,  $prj_Z \in PRJ$  – проект  $Z$ ,  $prod_{Z,A} \in PROD$  – разрабатываемое в рамках проекта  $Z$  изделие  $A$ .

Первоисточником данных для одного элемента ЭСИ является один или несколько объектов ИМИ, поэтому можно записать, что множество элементов ЭСИ является сюръективной функцией множества ИМИ:

$$g_A : DM_A \rightarrow \{itm_A\}. \quad (3)$$

В свою очередь, описание состава и иерархии элементов ЭСИ представляет собой КД. Таким образом, множество КД является сюръективной функцией множества ИТМ:

$$y_A : ITM_A \rightarrow \{kd_A\}. \quad (4)$$

где  $\{kd_A\} \subseteq KD$  означает конструкторский документ на изделие  $A$ .

Выражения (3) и (4) показывают зависимость объектов проектирования одного типа от объектов другого типа. Специфика разработки высокотехнологичной продукции с длительным сроком активного существования, рассматриваемая на примере космического приборостроения, определяет неоднородный состав множества информационных моделей изделия, разработанных в различных САПР. Это множество включает подмножества информационных моделей, разработанных в различных САПР: при электрическом и при механическом проектировании. Таким образом, можно записать

$$DM = \{MCADDM, ECADDM\},$$

где  $MCADDM$  – множество файлов ИМИ, разработанных в САПР механического моделирования (MCAD), а  $ECADDM$ , соответственно, – в САПР электрического моделирования (ECAD).

По технологии проектирования РЭА этап электрического проектирования, решающего задачи схемотехнического и радиотехнического характера, предшествует этапу механического моделирования, рассматривающего конструктивные и теплотехнические вопросы. Но не все составные части изделия подлежат электрическому моделированию, некоторые детали создаются только при механическом конструировании, например, рамка для закрепления электронных схем. В свою очередь, все электронные элементы ЭСИ, помимо своих электрических характеристик, моделирование которых осуществляется с помощью ECAD-САПР, имеют конструктивное воплощение (корпус), пространственные параметры

которого являются объектом моделирования в MCAD-САПР. Таким образом, в рамках разработки одного изделия  $A$  множество ИМИ, созданных в MCAD-САПР, превышает множество ИМИ, созданных в ECAD-САПР. Поскольку множества  $MCADDM_A \subseteq MCADDM$  и  $ECADDM_A \subseteq ECADDM$  являются конечными, можно записать выражение, показывающее сравнение их мощностей:

$$|MCADDM_A| > |ECADDM_A|. \quad (5)$$

Учитывая (5), можно сделать вывод, что полный состав изделия определяется его информационными моделями, разработанными в MCAD-САПР. Поэтому множество элементов ЭСИ изделия  $A$ ,  $ITM_A \subseteq ITM$ , является сюръективной функцией множества информационных моделей изделия  $A$ , разработанных в MCAD-САПР

$$w_A : MCADDM_A \rightarrow ITM_A. \quad (6)$$

Практическая реализация выражений (1)–(6) будет положена в основу программного обеспечения средств автоматизированного управления жизненным циклом объектов проектирования в рамках ИИС, включая разработку требований к программной интеграции САПР и СУД.

#### Концептуальное проектирование базы данных системы управления данными

В терминах объектно-ориентированного подхода каждому множеству из выражений (1)–(6) поставлен в соответствие класс, объекты которого будут использоваться для хранения сущностей.

Зависимости между объектами проектирования, формализованные в виде выражений (1)–(6), позволяют выделить типы рассматриваемых сущностей и структурировать их в виде классов в соответствии с положениями объектно-ориентированного подхода [3]. Рассматривая выражение (2) с точки зрения системного подхода, можно сделать вывод, что для реализации автоматизированного управления жизненным циклом объектов проектирования в рамках ИИС в модели данных СУД необходимо предусмотреть следующие классы: «Проекты», «Изделия», «Элемент ЭСИ», «Документы». При этом между данными классами существуют следующие отношения:

- в рамках одного проекта может выполняться разработка одного или более изделий;
- для одного изделия может существовать множество вариантов его электронной структуры;
- к одному проекту может относиться множество документов;
- ЭСИ и ее составные части описывается одним или более документом;
- к одному изделию может относиться один или более документ.

В связи с неоднородным составом множества ЭСИ, класс «элемент ЭСИ» является абстрактным и детализируется на следующие классы, согласно выделению составных частей изделия: «Стандартное изделие», «Комплект», «Деталь», «Сборочная

единица», «Прочее изделие», «Изделие из материала». При этом между данными классами определены следующие отношения:

- к одному экземпляру класса «Комплект» может относиться множество экземпляров классов «Деталь», «Сборочная единица», «Стандартное изделие», «Комплект»;
- к одному экземпляру класса «Сборочная единица» может относиться множество экземпляров классов «Деталь», «Сборочная единица», «Прочее изделие», «Изделие из материала», «Стандартное изделие».

Выражение (5), а также особенности приборного проектирования с электрической и механической точек зрения позволяют сделать вывод о необходимости объявления классов, объекты которых будут использоваться для хранения соответствующих информационных моделей. Кроме того, одной из особенностей механического проектирования является компонентный состав модели и понятие сборки. Сборка представляет собой структурированную совокупность отдельных конструктивных элементов, с учетом их габаритных размеров, положений в пространстве и ограничений подвижности. Фактически сборка представляет собой файл, в котором содержатся ссылки на файлы с описанием отдельных элементов, а также вышеперечисленные параметры зависимостей между ними. Таким образом, сборка состоит из множества подборок и деталей.

Аналогично организован компонентный состав модели изделия с точки зрения электрического проектирования: проект модели представляет собой набор ссылок на структурированную совокупность электрических схем, печатных плат и программного кода. Следовательно, применительно к рассматриваемой специфике проектирования высокотехнологичных изделий на примере отрасли космического приборостроения потомками абстрактного класса «ИМИ» являются абстрактные классы «MCAD» и «ECAD». Они, в свою очередь, детализируются на следующие классы:

- «MCAD-Сборка» – для хранения сборки, с которой ассоциируется множество экземпляров классов сборки «MCAD-Сборка» и деталей «MCAD-Деталь»;
- «ECAD-Проект» – для хранения проекта, с которым ассоциируется множество экземпляров класса входящих в него файлов электрических схем, печатных плат, программного кода «ECAD-Файл».

Различные типы документов (ИМИ, КД) позволяют сделать вывод о необходимости объявить класс «Документы» абстрактным суперклассом, потомками которого будут классы «КД» и «ИМИ».

Учтена возможность компонентного состава файлов информационных моделей, например сборка (класс «MCAD-Сборка») или проект (класс «ECAD-Проект»), представляющий собой файл с содержанием ссылок на файлы с описанием отдельных деталей (класс «MCAD-Деталь») или эл-

ментов (класс «ЕСАД-Файл») и параметры зависимостей между ними. Файлы ИМИ могут быть экспортированы в САПР, поэтому в абстрактном классе «ИМИ» и его потомках предусмотрена соответствующая операция. Операции по изменению стадий ЖЦ объектов проектирования фактически представляют собой изменение некоторых характеристик (атрибутов) рассматриваемых сущностей.

Поскольку в состав сборочной единицы могут входить разные сущности (детали, прочие и стандартные изделия, а также изделия из материала), необходима операция определения состава и иерархии компонентов сборочной единицы. Поэтому класс «Сборочная единица» поддерживает операцию «Сформировать структуру», а также «Сформировать КД», поскольку некоторые виды конструкторских документов (например, спецификация, перечень элементов) формируются на отдельные сборочные единицы. Как правило, типовые функциональные возможности современных СУД включают операции по изменению типового набора стадий ЖЦ объектов вида «Документ» и «Элемент ЭСИ». Однако на основании выполненного анализа наиболее популярных СУД был сделан вывод, что существующие решения не отражают необходимую специфику управления ЖЦ объектов проектирования, в том числе взаимозависимость рассматриваемых сущностей, характеристики подлинности документов, процессы согласования и утверждения. Поэтому определен набор атрибутов, характеризующих стадии ЖЦ рассматриваемых объектов проектирования.

На рисунке показан фрагмент разработанной формальной информационной модели в виде UML-диаграммы классов, иллюстрирующей состав и иерархию объектов проектирования, их основные атрибуты и операции в контексте управления их жизненным циклом в рамках ИИС.

Таким образом, учтена возможность существования нескольких версий объекта, статус его согласования, электронной подписи и типовых этапов ЖЦ в СУД. Существование нескольких версий объектов подклассов «Элемент ЭСИ» и «Документ» позволит реализовать накопление интеллектуального капитала за счет структурированного хранения результатов предыдущих проектных работ и возможности их повторного использования, в том числе с внесением необходимых изменений.

Полученная формальная информационная модель в виде UML-диаграммы классов использована для разработки программного обеспечения средств управления жизненным циклом объектов проектирования в ИИС, в частности при настройке модели данных СУД Enovia SmartTeam [4].

#### Выводы

Показана актуальность задачи структурирования информации об изделии на этапе его проектирования, представленной в виде множества версий разнотипных объектов: изделие, его информационные модели, электронная структура и конструкторская документация. Полученные математические выражения, описывающие их состав и взаимозависимость, являются основой для разработки инфор-

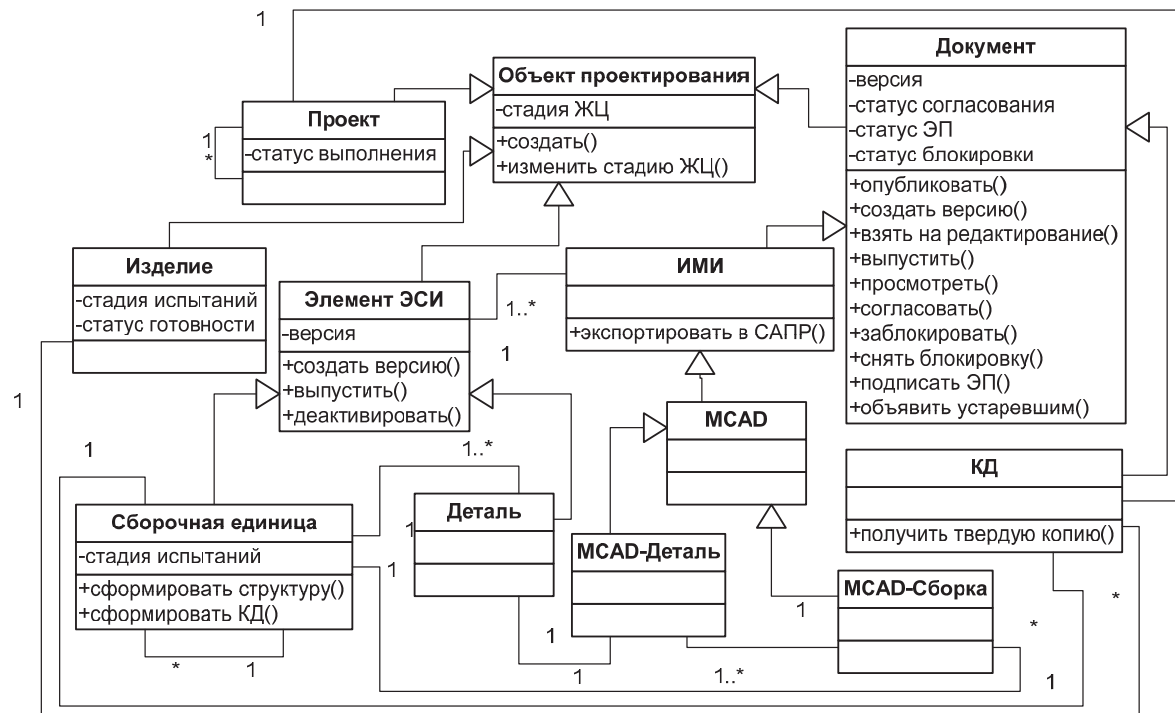


Рисунок. UML-диаграмма классов объектов проектирования

мационных и алгоритмических моделей программного обеспечения управления жизненным циклом разнотипных объектов проектирования в интегрированной информационной среде. При этом учте-

ны базовые положения технологий информационной поддержки жизненного цикла изделий об интеграции системы управления данными с системами автоматизированного проектирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В.Г. Анализ и сравнение существующих PDM / Форум САПР2000. URL: <http://fsapr2000.ru/index.php?showtopic=17636> (дата обращения: 11.01.2013).
2. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. 3-е изд. — М.: Вильямс, 2010. — 720 с.
3. Дрождин В.В., Зинченко Р.Е. Системный подход к концептуальному моделированию предметной области в самоорганизующейся информационной системе // Программные продукты и системы. — 2009. — № 4. — С. 73–79.
4. Вичугова А.А., Вичугов В.Н., Цапко Г.П., Цапко С.Г., Фень А.М. Анализ характера и состава проектной информации для построения модели данных PLM-системы Enovia SmarTeam применительно к задачам космического приборостроения // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта: Труды XII Междунар. конф. — М.: ООО «Аналитик», 2012. — С. 57–60.

*Поступила 01.03.2013 г.*